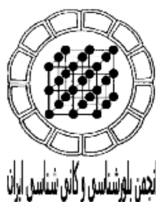
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارۀ اول، بهار ۹۹، از صفحۀ ۸۳ تا ۹۴



بررسی کانی‌شناسی و ویژگی‌های رئولوژی بنتونیت‌های منطقه مومن آباد، پهنه بنتونیتی شرق ایران، به منظور کاربرد در صنعت حفاری

سحر طربی*[۱]، سروش مدبری[۲]، محمد هاشم امامی[۳]، سید جمال شیخ ذکریایی[۱]

۱- گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران.

۲- دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران.

۳- گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، ایران.

(دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۲۹، نسخه نهایی: ۹۸/۳/۲۵)

چکیده: منطقه معدنی مؤمن آباد بخشی از پهنه بنتونیتی شرق ایران است که در واحدهای آتشفشانی ائوسن – الیگوسن تشکیل شده است. اسمکتیت و کریستوبالیت به عنوان فاز کانیایی اصلی و پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی، پاراگونیت، زئولیت (هولاندیت و کلینوپتیولیت)، میکا- ایلیت و کوارتز نیز به عنوان فازهای فرعی در بنتونیت‌ها حضور دارند. تصویربرداری الکترونی از ذره‌های صفحه‌ای بنتونیت، انبوهه‌هایی را با ظاهری لخته شده و به صورت کروی و زاویه‌دار با بافت دانه‌ذرتی نشان می‌دهند. طیف‌سنجی پراکنش انرژی پرتو ایکس (EDX) نشان می‌دهد که بنتونیت‌ها از نوع مونت‌موریلونیت سدیم هستند. نتایج آزمون‌های رئولوژی نشان می‌دهد که گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم و استحکام ژله‌ای در نمونه‌های بنتونیتی ساده با وزن ۳۰٫۴ گرم بیشتر از نمونه‌های با وزن ۱۰٫۸ و ۲۲٫۴ گرم است و نمونه‌های B07 و B04 با استاندارد API همخوانی نداشته، اما نمونه B02 با ویژگی‌های رئولوژی بهتر، قابلیت استفاده در صنعت حفاری را دارد. ویژگی‌های رئولوژی و استحکام ژله‌ای در نمونه‌های فعال‌شده بهتر از نمونه‌های ساده است و سیال‌های دربردارنده کربوکسی‌متیل‌سلولز به علت ویژگی یونی بالای ذرات نسبت به دیگر پلیمرها، بهترین افزایش‌دهنده ویژگی‌های رئولوژی هستند (نمونه‌های B02 و B04). اما نمونهB07 با استفاده از همه افزودنی‌ها با استاندارد API همخوانی ندارد و نمی‌توان از آن در صنعت حفاری استفاده کرد. بنتونیتی، از نظر ویژگی‌های رئولوژی مانند گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم و استحکام ژله‌ای در ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه از میان سه نمونه ساده B02 با وزن ۳۰٫۴ گرم به ترتیب با ۸٫۵، ۵، ۷، ۵ و ۵ و همچنین با حضور پلیمر کربوکسی‌متیل‌سلولز به ترتیب با ۲۵، ۹، ۳۲، ۱۴ و ۱۱ بهترین ویژگی‌ها را بر اساس استاندارد API برای کاربرد در صنعت حفاری دارند.

واژه‌های کلیدی: *گرانروی؛ حفاری؛ بنتونیت؛ مومن آباد؛ شرق ایران.*

مقدمه

بنتونیت‌ها به طور عمده از کانی‌های گروه اسمکتیت تشکیل شده‌اند. اسمکتیت شامل کاتیون‌های تبادل‌پذیر مانند آلومینیم، سدیم، کلسیم، منیزیم، آهن و لیتیم در میان‌لایه‌های سیلیکات به همراه مولکول‌های آب است. کانی‌های اصلی این گروه مونت‌موریلونیت سدیم، مونت‌موریلونیت کلسیم، مونت‌موریلونیت منیزیم (ساپونیت)، مونت‌موریلونیت آهن (نانترونیت)، مونت‌موریلونیت لیتیم (هکتوریت) و مونت‌موریلونیت آلومینیم (بایدلیت) هستند. مونت‌موریلونیت کلسیم فراوان‌ترین کانی گروه اسمکتیت است و در بسیاری از نقاط جهان یافت می‌شود. مونت موریلونیت سدیم در مقایسه با مونت موریلونیت کلسیم به نسبت نادر است. مونت موریلونیت

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۵۶۹۷۳۱۷، پست الکترونیکی: sahartarabi50@yahoo.com

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

سدیم نسبت به مونت موریلونیت کلسیم ویژگی‌های متفاوتی دارد که موجب کاربرد آن‌ها در صنایع مختلف می‌شود [۱].

بنتونیت‌ها را براساس ویژگی‌های فیزیکی (ظرفیت تورم) و کانی‌شناسی (کاتیون‌های اصلی) به دو گروه تقسیم می‌کنند [۲]: نوع سدیمی یا سدیم- کلسیمی مانند کانسارهای موجود در ایالت‌های وایومینگ و مونتانا در آمریکا [۳] که تورم پذیری بالا تا متوسط دارد و نوع کلسیمی مانند کانسارهای ایتالیا، شرق میانه، ترکیه، یونان و مصر [۴-۷] که تورم پذیری پایینی دارد.

کاربرد صنعتی انواع بنتونیت‌ها بر اساس ویژگی‌های یعنی تفاوت در قابلیت تورم‌پذیری و اختلاف در ژله‌ای شدن در محلول آبدار یعنی استحکام فیزیکی و مقاومت دمایی به طور خلاصه به شرح زیر است: ۱-بنتونیت کلسیمی در ماسه ریخته‌گری، جاذب روغن و گریس، فیلترکردن و تصفیه، خوراک دام و ۲- بنتونیت سدیمی در گل‌های‌حفاری، ماسه ریخته‌گری، گندله‌سازی، غذای‌دام و مهندسی عمران [۱] کاربرد دارند. بیشترین مصرف بنتونیت‌ها، در تولید گندله آهن، ریخته‌گری و حفاری است.

بنتونیت یکی از اجزای تشکیل دهنده بیشتر سیال‌های حفاری پایه آبی بوده [۸] و به عنوان یک ماده کارآمد، برای انجام عملیات حفاری نفت و مواد هیدروکربنی ضروری است [۹]. در مایعات حفاری، ویژگی‌هایی مانند گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم و مقاومت ژل نقش مهمی در بهبود مایعات و عملیات حفاری ایفا می‌کنند [۱۰، ۱۱]. براساس این ویژگی‌ها و به منظورهای بسیاری چون بهبود ویژگی‌های مکانیکی و رئولوژی گل حفاری، بهبود ویژگی‌های فیلتر کیک، افزایش پایداری چاه، جلوگیری از تخریب سازند و افزایش چگالی، بر اساس استاندارد API مواد افزودنی به سیال پایه آبی اضافه می‌شود [۱۱، ۱۲]. مواد افزودنی به گل پایه آبی، با عنوان افزایش‌دهنده و کاهش‌دهنده گرانروی هستند. بنتونیت‌ها به عنوان یک افزودنی رایج در سراسر جهان به منظور افزایش گرانروی و کاهش هرزروی مایع در سازندها استفاده می‌شوند [۱۱]. پلیمرها از دیگر افزودنی‌های سیال‌های حفاری هستند که امروزه بخش زیادی از سیال‌های صنعت حفاری را تشکیل می‌دهند. پلیمرها شامل پلیمرهای طبیعی مانند نشاسته، پلیمرهای طبیعی اصلاح شده مانند چند آنیونی سلولز (PACR) و کربوکسی متیل سلولز (CMC) و انواع پلیمرهای مصنوعی هستند که به عنوان افزایش‌دهنده گرانروی استفاده می‌شوند. پلیمر چند آنیونی سلولز در سه نوع متفاوت وجود دارد. با گرانروی بالا، گرانروی متوسط و گرانروی پایین که گرانروی‌های متفاوتی به سیال می‌دهند که بر اساس شرایط عملیات حفاری استفاده می‌شوند [۱۳، ۱۴]. مواد دیگری چون سود سوزآور (Caustic Soda) و کربنات سدیم (Soda ash) نیز به گل حفاری و بنتونیت‌ها اضافه می‌شوند.

بررسی‌های پیشین بر نهشته‌های بنتونیتی شرق ایران به ویژه خراسان جنوبی، بیرجند، فردوس، سرایان و منطقه سربیشه و مومن آباد نشان داده است که این نهشته‌ها در نتیجه دگرسانی درونزادی [۱۵-۱۸] و دگرسانی درونزادی به همراه دگرسانی گرمابی [۱۹-۲۱] از سنگ‌های اسیدی تا حدواسط در شرایط محیطی لاگون مانند [۱۶،۱۵] و دریاچه‌ای لاگونی [۲۰، ۲۱] تشکیل شده‌اند. گروهی از پژوهشگران به بررسی کاربرد بنتونیت‌های مناطق فردوس و سرایان در صنعت دارویی [۱۷] و بررسی نقش بنتونیت‌های کانسار مومن آباد در صنعت گندله سازی [۲۱، ۲۲] و همچنین ریخته‌گری [۲۳] پرداخته‌اند. از آنجاکه تا کنون کانی‌شناسی و کاربردهای صنعتی بنتونیتی‌های ایران و به ویژه منطقه مؤمن‌آباد در صنعت حفاری به صورت خام و با استفاده از پلیمرها بررسی نشده است، به منظور مطالعه بنتونیت‌های این منطقه در صنعت حفاری، بررسی‌های کانی‌شناسی و آزمون‌های رئولوژی با استفاده از پلیمرهای مختلف بر ۳ نمونه بنتونیت از سینه کار اصلی معدن انجام شد، تا بتواند در صنعت حفاری ایران کارگشا باشد.

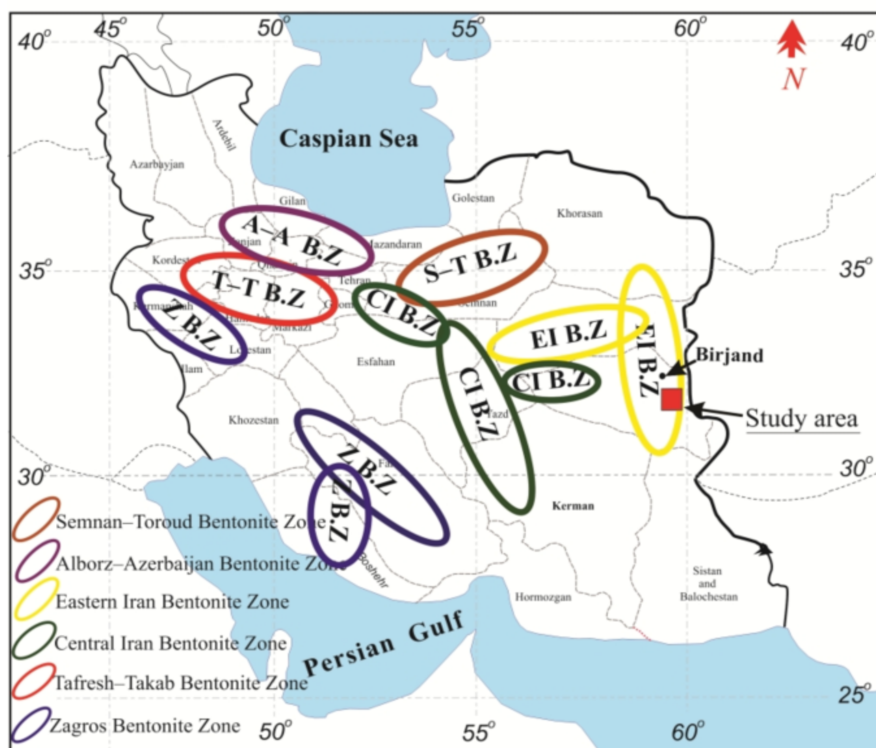
زمین شناسی منطقه

کانسارهای بنتونیتی ایران در شش پهنه سمنان-ترود، البرز-آذربایجان، شرق ایران، ایران مرکزی، تفرش-تکاب و زاگرس پدید آمده‌اند و در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی نوزیستی هستند. بنتونیت‌های پهنه سمنان-ترود در شرق و شمال شرق سمنان تا شرق ترود رخنمون دارند. بنتونیت‌های پهنه البرز-آذربایجان، شامل کانسارهای منطقه دماوند، لواسان، آبیک، قزوین و اطراف زنجان هستند. بنتونیت پهنه شرق ایران در منطقه‌های تربت حیدریه، تربت جام، کاشمر، گناباد، بیرجند، سرایان و فردوس در دو پهنه قطعه لوت و پهنه زمین درز سیستان رخنمون دارند. این بنتونیت‌ها شامل کانسارهای درودگر در منطقه کاشمر و بردسکن، کانسار کوه سرخ زرین در منطقه اردکان، کانسار اسفهک در منطقه طبس و اسفهک،

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

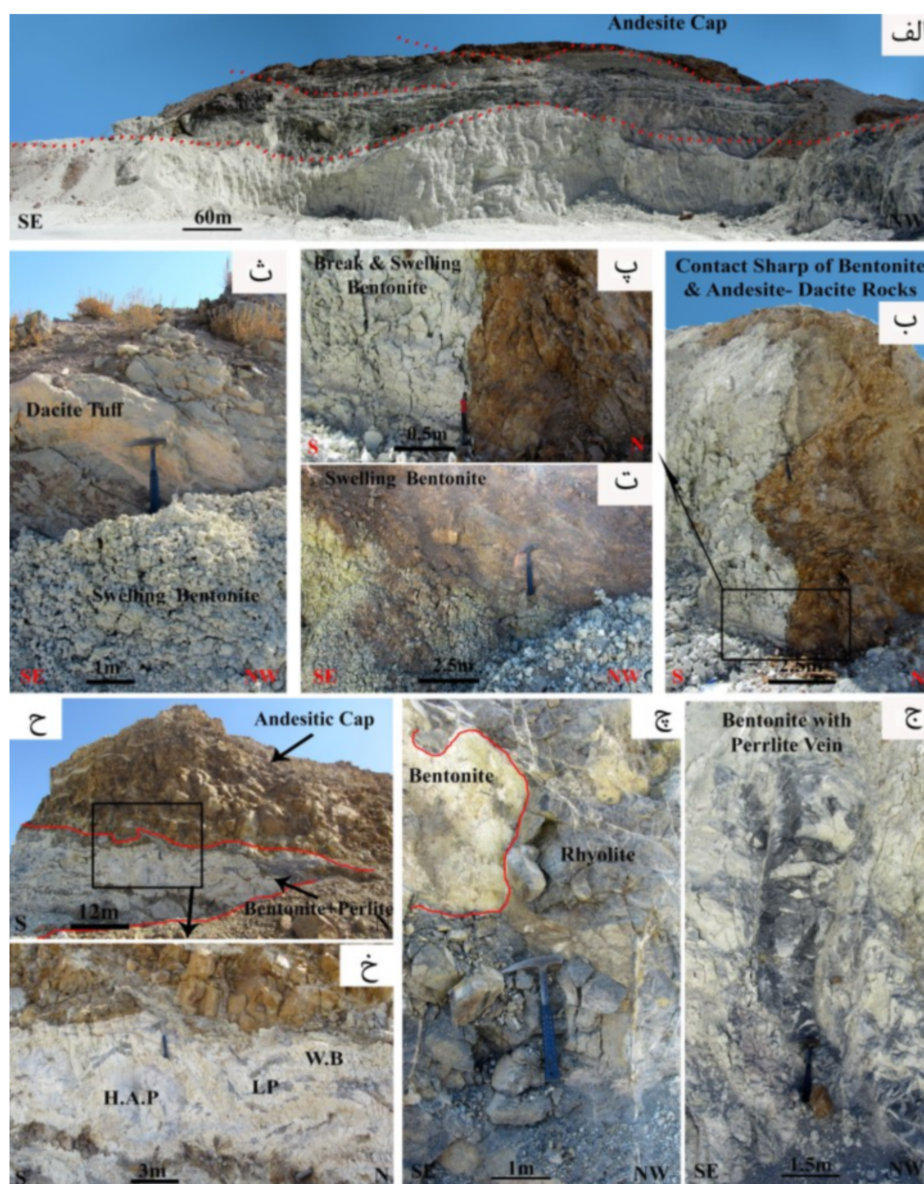
کانسار بسطاق سرایان در منطقه فردوس و بسطاق و کانسار بنتونیت خوشاب در منطقه خراسان رضوی و شهرستان کاشمر هستند.

بنتونیت پهنه ایران مرکزی در دو افق رخنمون دارند: ۱- افق اصلی از منطقه زرین اردکان تا منطقه جنوب فردوس و ۲- افق بنتونیتی خور و بیابانک. بنتونیت پهنه تفرش-تکاب در مناطق تفرش، ساوه، آوج و جنوب زنجان تا تکاب دیده می-شوند. بنتونیت پهنه زاگرس در مناطق مانیان در جهرم، سپیدان فارس، چقا کبود بین کرمانشاه و در بوشهر رخنمون دارند [۲۴] (شکل ۱). منطقه معدنی مؤمن آباد در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی سربیشه در استان خراسان جنوبی و جنوب شرقی بیرجند در طول جغرافیایی ′۴۳٫۵۵ ″۵۷٫۳۰ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ′۴۰ ″۳۸ °۳۲ شمالی قرار دارد و از نظر موقعیت کانسارهای بنتونیتی ایران، بخشی از پهنه بنتونیتی شرق ایران است [۲۴] (شکل ۱). این منطقه بر اساس زمین‌شناسی و تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری ایران [۲۵] و بررسی‌های انجام شده [۲۶، ۲۷] در پهنه زمین‌درز سیستان و بر اساس نقشه مراجع [۲۸، ۲۹] در مرز پهنه زمین‌درز سیستان و قطعه لوت واقع است. معدن بنتونیت مومن آباد در واحدهای سنگی داسیت، ریولیت و آندزیت به صورت واحدهایی با دگرسانی شدید رخنمون دارد [۲۰]. این معدن در چهار لایه ریختاری به شرح زیر را نشان می‌دهد. در پایین‌ترین لایه، بنتونیت‌های لایه‌ای و رگه‌های پرلیتی و پرلیت توده‌ای (MP) دیده می‌شوند (شکل ۲ الف). بنتونیت‌ها ویژگی‌های ظاهری خشک شده، انقباض یافته و شکسته شده را نشان می‌دهند (شکل‌های ۲ ب و پ). در لایه دوم، رخساره‌هایی از جنس داسیت با دگرسانی‌های پیشرفته‌ای از نوع کربناتی‌شدن و رسی دیده می‌شوند (شکل‌های ۲ ت و ث). لایه سوم، شامل بنتونیت‌های سفید (WB) پیرامون گسل و بنتونیت‌های سبز روشن تا تیره (GB) در پی دگرسان شدن ریولیت‌های پرلیتی هستند (شکل‌های ۲ ج و چ). بنتونیت‌های سفید لایه چهارم به سختی از پرلیت‌ها با دگرسانی‌های شدید (HAP) قابل تفکیک هستند (شکل‌های ۲ ح و خ). پرلیت‌ها به سه شکل پرلیت‌های عدسی شکل (LP)، توده‌ای و رگه‌ای (VP) به صورت میان لایه‌ای بسیار نازک همراه با بنتونیت هستند. سنگ میزبان ریولیت پرلیتی در اثر دگرسانی‌های به صورت رگه‌های در حال تبدیل شدن به بنتونیت هستند در میان پرلیت و بنتونیت‌ها، میانبارهایی از سنگ داسیت و ریوداسیت دیده می‌شود. این لایه توسط کلاهک آندزیتی، پوشیده شده است.



شکل ۱ نقشه جایگاه پهنه‌های بنتونیتی ایران و منطقه مورد بررسی.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]



شکل ۲ الف) نمای کلی از بنتونیت لایه‌ای و پرلیت رگه‌ای و توده‌ای، ب-پ) بنتونیت خشک شده و شکسته شده، ت-ث) داسیت با دگرسانی‌های پیشرفته‌ای از نوع کربناتی‌شدن و رسی، ج) رگه پرلیتی در بنتونیت، چ) حضور بنتونیت در سنگ میزبان ریولیتی، ح) دگرسان شدن پرلیت با دگرسانی شدید و عدسی شکل به بنتونیت سفید و پوشش کلاهک آندزیتی. خ) نمایی نزدیک از تصویر ح.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی‌های کانی‌شناسی و انجام آزمون‌های رئولوژی، ۳ نمونه بنتونیت B02، BO4 و B07 از سینه‌کار اصلی معدن مومن آباد به وزن ۶-۷ کیلوگرم برداشت شد. نمونه‌ها توسط شرکت گوهرپودر پارس به اندازه ۴۵ میکرون پودر شد.

نمونه‌ها برای پراش پرتو ایکس (XRD)، تصویربرداری الکترونی روبشی (SEM) و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDX) به اداره کل تحقیقات و اکتشاف معادن، گروه تحلیل و تکنولوژی معدن در کشور ترکیه ارسال شدند.

آزمون‌های سیال شناسی شامل اندازه‌گیری گرانروی - ظاهری، گرانروی‌ناکشسان، نقطه تسلیم و استحکام ژل بر نمونه‌های ساده در سه وزن مختلف ۱۰/۸، ۲۲/۴ و ۳۰/۴ گرم و نمونه‌های فعال‌شده با پلیمرهای کربوکسی متیل سلولز و چند آنیونی سلولز و کربنات سدیم در یک وزن ۲۲/۴ گرم انجام شده‌است. این آزمون‌ها برای نمونه‌های پودر شده در آزمایشگاه نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران انجام شد. در نخستین مرحله، سوسپانسیون رس‌های بنتونیت خام به وسیله اضافه کردن ۱۰/۸، ۲۲/۴ و ۳۰/۴ گرم بنتونیت خشک

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

به۳۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر تهیه می‌شود. این مواد توسط دستگاه همزن مغناطیسی مدل Hamilton Beach حدود ۲ دقیقه هم زده می‌شود. در مرحله بعد، نمونه‌ها توسط موادی مانند کربنات سدیم، کربوکسی متیل سلولز پلیمر چند آنیونی سلولز فعال می‌شوند. این مواد به مقدار حدود ۳ درصد وزنی از وزن بنتونیت خشک به سوسپانسیون رس بنتونیتی اضافه می‌شود. جهت تعیین ویژگی‌های رئولوژی، از گرانروی‌سنج دوار مدل FANN 35 استفاده شد. این دستگاه شامل سرعت‌های ۳، ۶، ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۶۰۰ دور در دقیقه است که افزون بر گرانروی سیال حفاری، نقطه تسلیم و مقاومت ژل را نیز اندازه-گیری می‌کند. بر اساس سرعت‌های یاد شده، زاویه انحراف عقربه دستگاه (θ) و روابط $AV = 0.5 \times θ600$، $PV = θ600 - θ300$ و $YP = θ300 - PV$، ویژگی‌های رئولوژی اندازه‌گیری می‌شود. در این روابط، AV و PV بر حسب سانتی پواز (cp) وYP بر حسب پوند بر ۱۰۰ فوت مربع ($Ib/100ft^2$) است. واحد اندازه‌گیری مقاومت ژل نیز $Ib/100ft^2$ است.

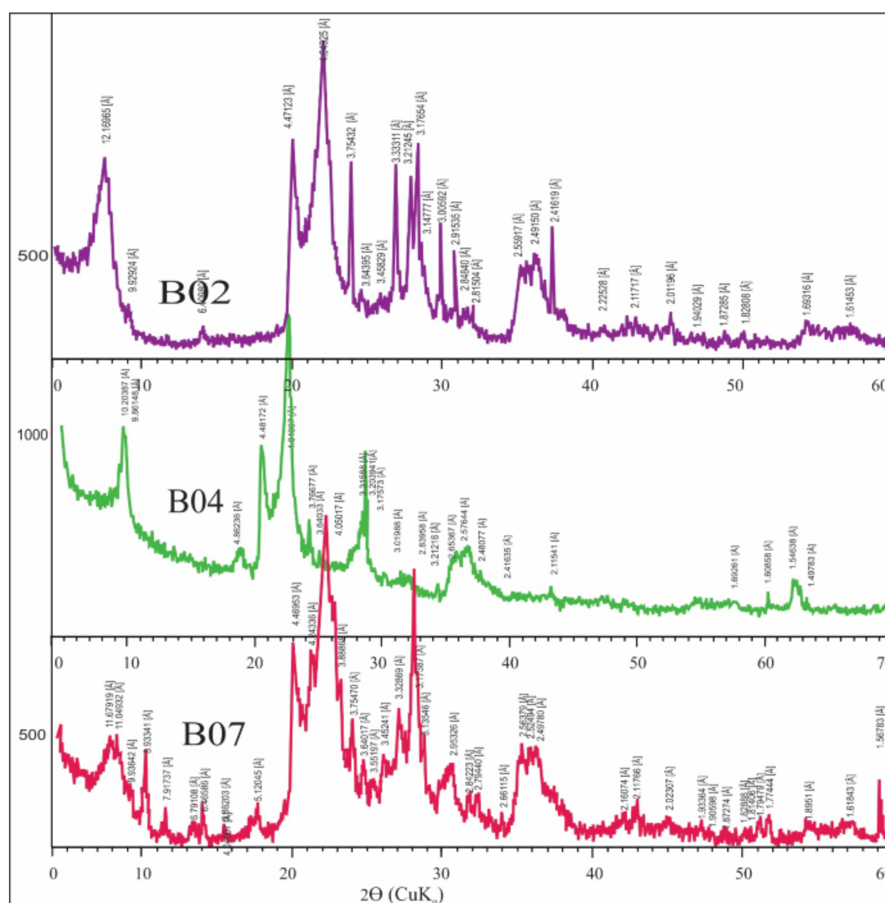
نتایج

پراش پرتو ایکس (XRD)

در نمونه‌های بنتونیت منطقه، اسمکتیت و کریستوبالیت به عنوان فاز کانیایی اصلی هستند (جدول ۱ و شکل ۳)، اما حضور اسمکتیت و کریستوبالیت می‌تواند با مقدارهای متفاوت باشد. در نمونه‌های B02، اسمکتیت و مونتموریلونیت به عنوان اصلی‌ترین و فراوان‌ترین فاز و در نمونه‌های B04 و B07، کریستوبالیت به عنوان اصلی‌ترین فاز است.

جدول ۱ نتایج برآمده از پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های بنتونیت در منطقه معدنی مؤمن آباد.

نمونه	کانی های اصلی	کانی های فرعی
B-02	Smectite + Cristobalite	Plagioclase Feldspar + Quartz + Mica-Illite, di-Oct
B-04	Cristobalite	Paragonite+ Plagioclase + Montmorillonite + Amorphous
B-07	Cristobalite + Smectite	Plagioclase Feldspar + Alkali Feldspar + Zeolite (Heulandite and/or Clinoptilolite) + Quartz + Mica-Illite



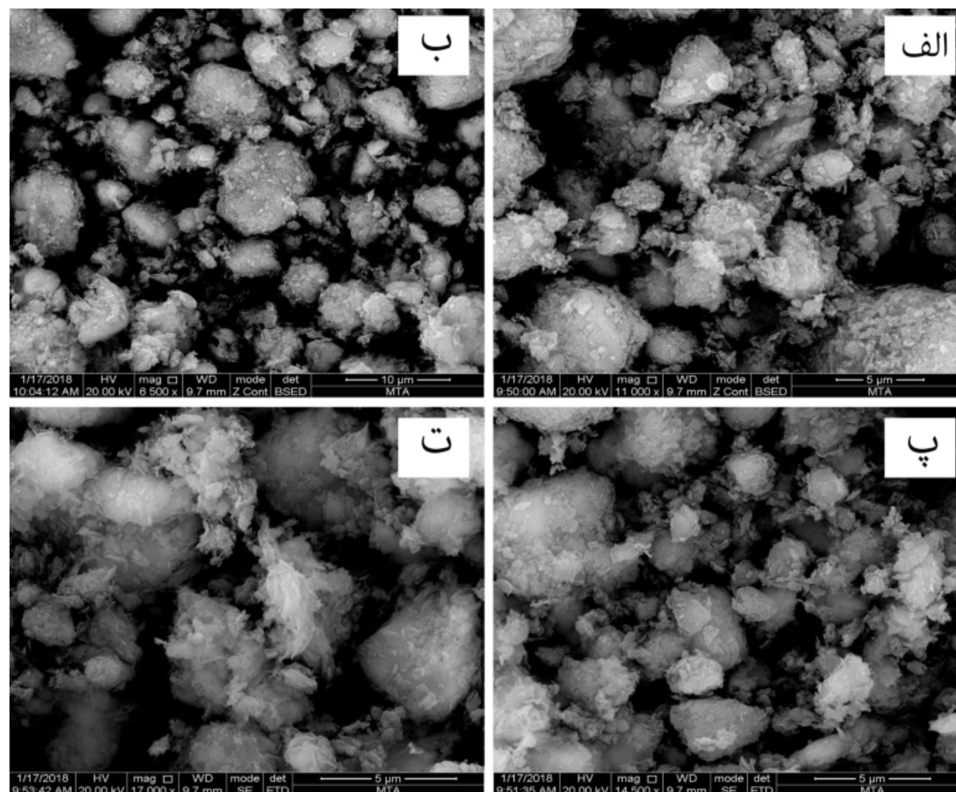
شکل۳ الگوهای XRD نمونه اولیه بنتونیت‌ها.

فازهای فرعی کانی‌های بنتونیت‌ها، شامل پلاژیوکلاز فلدسپار، فلدسپار قلیایی، پاراگونیت، مونت‌موریلونیت، زئولیت بیشتر از نوع هولاندیت و کلینوپتیولیت، میکا، ایلیت و کوارتز هستند (جدول ۱) که در نمونه‌های مختلف متفاوت است. فاز فرعی پلاژکلاز فلدسپار و فلدسپار قلیایی در همه نمونه‌های بنتونیتی با درصدهای متفاوت و پاراگونیت در نمونه B04 حضور دارد. فازهای فرعی زئولیت از نوع هولاندیت و کلینوپتیولیت با درصدهای کم در نمونه‌های B07 و میکا-ایلیت و کوارتز در نمونه‌های B02 و B07 حضور دارند.

تصویربرداری الکترونی (SEM) و طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS/EDX)

این آزمایش‌ها برای پودرهای بنتونیتی منطقه (B02-B04-B07) و بر ۱۰ نقطه انجام شد. تصویربرداری الکترونی برای هر سه نمونه نشان می‌دهد که پراکندگی اندازه دانه‌ها، ناهمگن و از ۱تا µm ۱۰ متفاوت هستند (شکل ۴) و دانه‌ها، ترکیبی از کوارتز تا رس از نوع مونت‌موریلونیت سدیم دارند. ذره‌های صفحه‌ای بنتونیت، انبوهه‌هایی با ظاهری لخته شده می‌سازند و به صورت کروی و زاویه‌دار دیده می‌شوند (شکل ۴) که بافت دانه ذرتی را نیز نشان می‌دهند (شکل ۴ پ). نسبت انبوهه‌های کروی بیشتر از انبوهه‌های زاویه‌دار است. انبوهه‌های زاویه‌دار ذره‌های دووجهی اسمکتیت را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۴ الف تا ت). روی لخته‌های بنتونیتی، کریستوبالیت و ذرات کوارتزی دیده می‌شود که به صورت رورشدی بر بنتونیت‌ها رشد کرده‌اند (شکل‌های ۴ ب تا ت).

نتایج EDX برای ۱۰ نقطه نشان می‌دهد که نسبت Al/Si تقریبا ۱/۳ است و مونت‌موریلونیت جزو اصلی بنتونیت‌هاست (Falode et al., 2008) و انبوهه‌های بنتونیتی از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیم هستند که مقدار Mg ،Fe ،Al ،Si، Na و Ca آنها متفاوت است. مقدار Na و Ca در ۱۰ نقطه تجزیه شده بر مونت‌موریلونیت‌های منطقه به ترتیب از ۰/۷۹ تا ۲/۴۸ و ۰/۱ تا ۰/۶ هستند و نشان می‌دهد که بنتونیت‌های منطقه از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیم هستند (جدول ۲).



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی با الکترون‌های پس پراکنده (BSE) از دانه‌های کوچک‌تر از µm ۱۰ بر الف) لخته‌های کروی تا زاویه‌دار با دووجهی‌های اسمکتیت و رورشدی شدید کریستوبالیت با اندازه‌هایی کوچک‌تر از µm ۱، ب) لخته‌های کروی اسمکتیت‌ها با رورشدی کریستوبالیت و بلور کریستوبالیت لیپسفر، پ) لخته‌های کروی تا زاویه‌دار اسمکتیت با بافت دانه ذرتی، ت) دووجهی‌های اسمکتیت با رورشدی کریستوبالیت و بلور کریستوبالیت با ریخت کروی با اندازه‌هایی کوچک‌تر از µm ۱.

جدول ۲ نتایج EDX بر ۹ نقطه Na اسمکتیت برای نمونه‌های B02، B04 وB07.

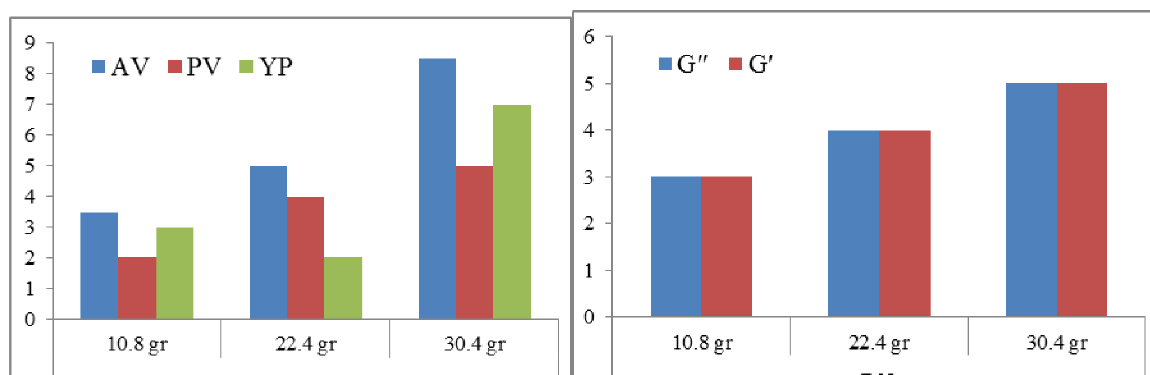
	نوع	عنصر	O	Na	Mg	Al	Si	Fe	K	Ca	Ti	Cl
۱B02-Spot	Na-Sme	W%	۴۸٫۸	۲٫۴۸	۲٫۶۱	۱۰٫۹	۳۲٫۶	۱٫۰۶	۰٫۷۳	۰٫۴		۰٫۵
۲B02-Spot	Na-Sme	W%	۴۱٫۹	۱٫۵۵	۳٫۹۷	۷٫۳۹	۲۹٫۳	۹٫۶۲	۴٫۴		۱٫۹	
۳B02-Spot	Na-Sme	W%	۵۵	۱٫۴۹	۱٫۱	۵٫۲۷	۳۵٫۲	۰٫۷۶	۰٫۵۴	۰٫۴		۰٫۲
۱B04-Spot	Na-Sme	W%	۴۷٫۹	۱٫۱۵	۱٫۱۸	۱۰٫۳	۳۴٫۸	۲٫۱۵	۲٫۴۳	۰٫۱		
۲B04-Spot	Na-Sme	W%	۴۵٫۷	۱٫۸۶	۲٫۰۱	۱۱٫۳	۳۲٫۶	۴٫۵۲	۱٫۷۸	۰٫۳		
۳B04-Spot	Na-Sme	W%	۴۴٫۳	۰٫۷۹	۱٫۴	۱۱٫۶	۳۸٫۴	۱٫۴۱	۱٫۶۶	۰٫۴		
۱B07-Spot	Na-Sme	W%	۴۷٫۴	۱٫۰۷	۰٫۹۹	۵٫۶۴	۴۲٫۴	۰٫۸	۱٫۲۳	۰٫۵		
۲B07-Spot	Na-Sme	W%	۴۵٫۵	۲٫۳۶	۱٫۴۵	۶٫۹۳	۳۱٫۸	۰٫۹۳	۱٫۴۴	۰٫۶		
۳B07-Spot	Na-Sme	W%	۳۸٫۶	۱٫۰۶	۱٫۳۳	۱۲٫۲	۳۷٫۶	۵٫۲۴	۳٫۶۳	۰٫۳		

آزمون‌های رئولوژی

نتایج آزمون‌های رئولوژی نمونه‌های ساده B02 در جدول ۳ و شکل ۵ و برای نمونه‌های فعال شده در جدول ۴ و شکل ۶ نشان داده شده است. برای نمونه B04 ، نتایج آزمون‌های رئولوژی نمونه‌های ساده در جدول ۳ و شکل ۷ و نمونه‌های فعال‌شده در جدول ۴ و شکل ۸ نشان داده شده است. برای نمونه B07، نتایج آزمون‌های رئولوژی نمونه‌های ساده در جدول ۳ و شکل ۹ و نمونه‌های فعال‌شده در جدول ۴ و شکل ۱۰ و ۱۱ آورده شده است.

جدول ۳ نتایج آزمون‌های انجام شده بر بنتونیت‌های ساده.

نمونه	B02			B04			B07		
	۱۰٫۸ gr	۲۲٫۴ gr	۳۰٫۴ gr	۱۰٫۸ gr	۲۲٫۴ gr	۳۰٫۴ gr	۱۰٫۸ gr	۲۲٫۴ gr	۳۰٫۴ gr
□600	۷	۱۰	۱۷	۴	۸	۱۴	۴	۵	۸
□300	۵	۶	۱۲	۳	۵	۱۰	۳	۴	۵
AV (cp)	۳٫۵	۵	۸٫۵	۲	۴	۷	۲	۲٫۵	۴
PV (cp)	۲	۴	۵	۱	۳	۴	۱	۱	۳
YP (Ib/100ft²)	۳	۲	۷	۲	۲	۶	۲	۱	۲
G″	۳	۴	۵	۱	۲	۴	۲	۲	۲
G′	۳	۴	۵	۱	۲	۴	۲	۲	۲
وزن کل (ppg)	۸٫۵	۸٫۴	۸٫۹	۸٫۴	۸٫۶	۸٫۸	۸٫۵	۸٫۶	۸٫۹
M.W (pcf)	۱٫۲	۱٫۴	۱٫۶	۱٫۱	۱٫۳	۱٫۵	۱٫۲	۱٫۳	۱٫۶
S.P.G.R (g/cm3)	۶۳	۶۵	۶۷	۶۲	۶۴	۶۶	۶۳	۶۵	۶۷

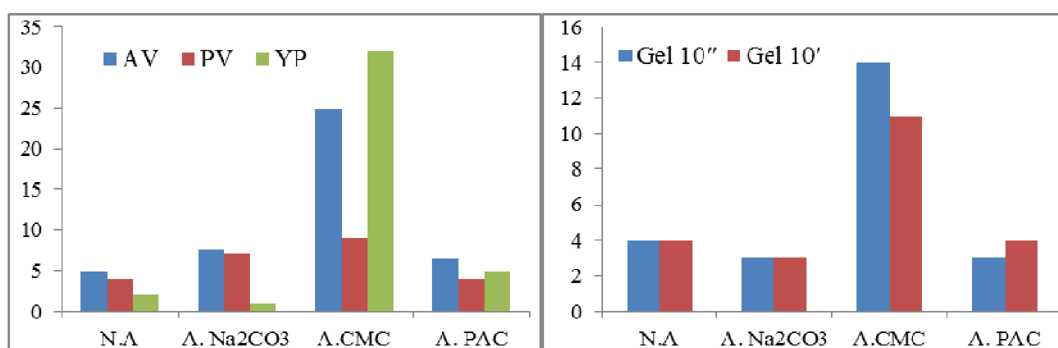


شکل۵ الف) ویژگی‌های سیال شناسی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) در نمونه B02.

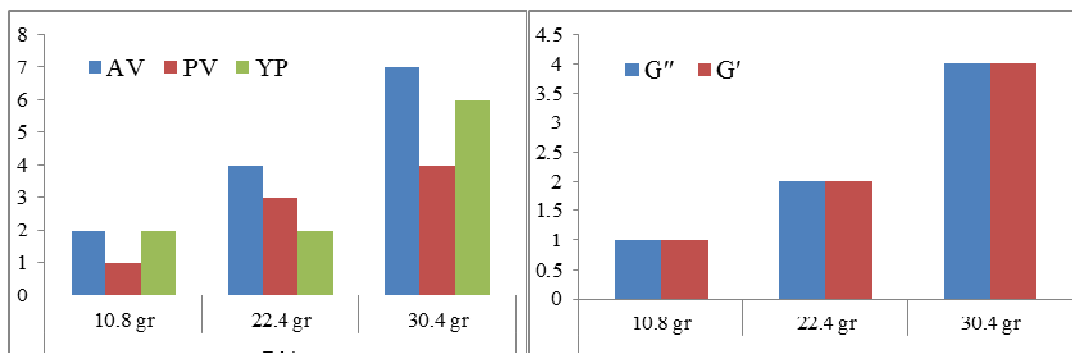
[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

جدول ۴ نتایج آزمون‌های انجام شده بر بنتونیت‌های فعال شده.

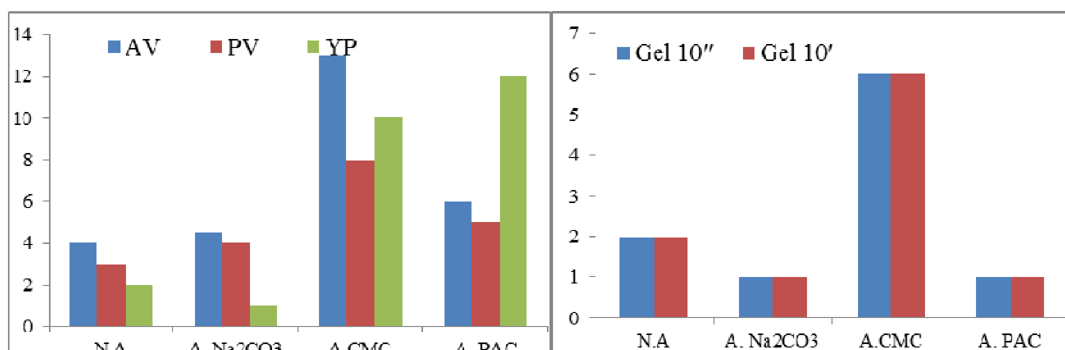
نمونه فعال شده با	B02	B04	B07	B02	B04	B07	B02	B04	B07
	Na_2CO_3			CMC			PAC		
□600	۱۵	۹	۶	۵۰	۲۶	۱۲	۱۳	۱۲	۱۰
□300	۸	۵	۳/۵	۴۱	۱۸	۷	۹	۱۷	۶
AV(cp)	۷/۵	۴/۵	۳	۲۵	۱۳	۶	۶/۵	۶	۵
PV(cp)	۷	۴	۲/۵	۹	۸	۵	۴	۵	۴
YP ($Ib/100ft^2$)	۱	۱	۱	۳۲	۱۰	۲	۵	۱۲	۲
G″	۳	۱	۲	۱۴	۶	۳	۳	۱	۲
G′	۳	۱	۲	۱۱	۶	۳	۴	۱	۲
وزن کل (ppg)	۸/۴	۸/۶	۸/۶	۸/۴	۸/۷	۸/۷	۸/۷	۸/۷	۸/۷
M.W (pcf)	۱/۴	۱/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴	۱/۴
S.P.G.R (g/cm3)	۶۵	۶۴	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵	۶۵



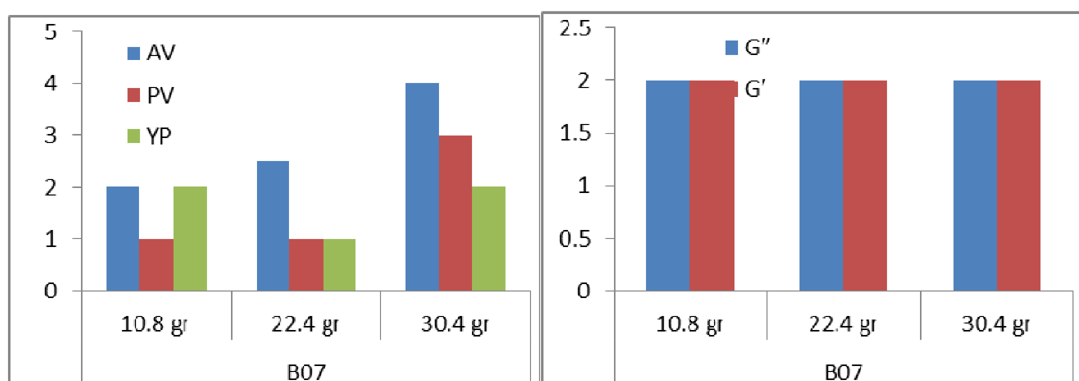
شکل۶ الف) ویژگی‌های رئولوژی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) و فعال‌شده (A) توسط Na_2CO_3، CMC و PAC در نمونه B02.



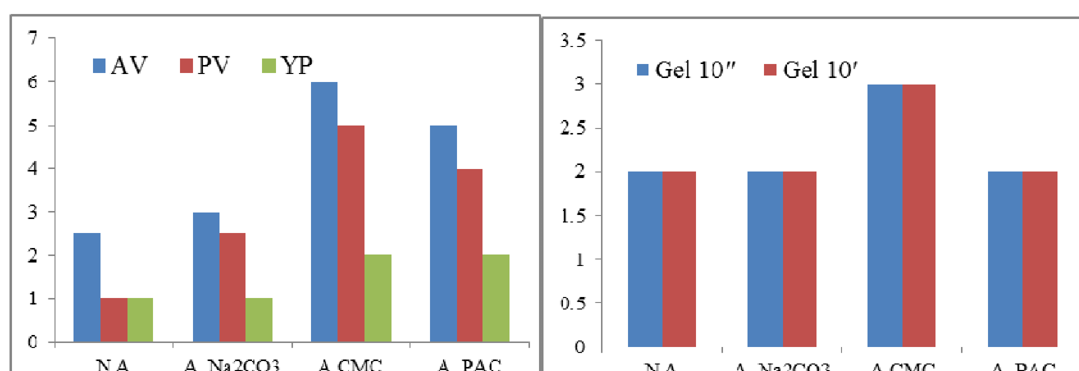
شکل۷ الف) ویژگی‌های سیال شناسی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) در نمونه B04.



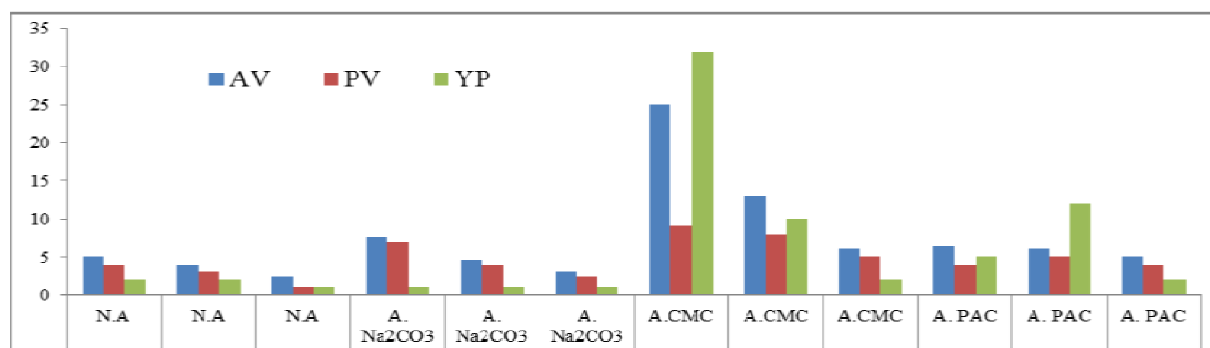
شکل۸ الف) ویژگی‌های سیال شناسی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) و فعال شده (A) توسط Na_2CO_3، CMC و PAC در نمونه B04.



شکل ۹ الف) ویژگی‌های سیال شناسی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) در نمونه B07.



شکل ۱۰ الف) ویژگی‌های سیال شناسی و ب) مقاومت ژله‌ای بنتونیت‌های ساده (N.A) و فعـال شـده (A) توسـط Na_2CO_3، CMC و PAC در نمونه B07.



شکل۱۱ ویژگی‌های سیال شناسی بنتونیت‌های ساده (N.A) و فعال شده (A) توسط Na_2CO_3، CMC و PAC.

نتایج آزمون‌های سیال شناسی، در هر سه نمونه بنتونیتی نشان می‌دهد که گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم در نمونه‌های ساده با وزن‌های ۳۰/۴ گرم بیشتر از نمونه‌های با وزن‌های ۲۲/۴ و ۱۰/۸ گرم است. گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم با مقدار بنتونیت موجود در سوسپانسون، رابطه مستقیم دارد و با افزایش مقدار بنتونیت، گرانروی ناکشسان نیز افزایش می‌یابد. دلیل این امر، خاصیت جذب آب توسط ذرات بنتونیت است. در واقع، بنتونیت‌ها شامل بار منفی در سطح خود هستند، به همین دلیل، مولکول‌های آب را بین لایه‌های خود جذب کرده و افزایش حجم می‌یابند [۳۰]. افزایش حجم ذرات بنتونیت معادل افزایش حجم ذرات جامد موجود در سیال است. از طرف دیگر، گرانروی ناکشسان یک سیال تابع گرانروی فاز مایع آن سیال و نیز حجم مواد جامد موجود در آن است. بنابراین، افزایش مقدار بنتونیت موجب افزایش گرانروی ناکشسان سیال می‌شود [۳۱]. نتایج آزمون‌های رئولوژی در نمونه‌های B02، B04 و B07 نشان می‌دهد که گرانروی

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم در نمونه ساده B07 با استاندرد API [۱۲] همخوانی ندارند و نمی‌توانند در صنعت حفاری استفاده شوند. اما نمونه‌های B04 و B02 فقط در وزن ۳۰٫۴ گرم مناسب استفاده در صنعت حفاری هستند از میان آنها، نمونه B02 ویژگی‌های رئولوژی بهتری را نشان می‌دهد و می‌توانند در صنعت استفاده شود. استحکام ژله‌ای نیز در هر سه نمونه بنتونیت ساده، نتایجی مانند گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم نشان می‌دهد و در نمونه‌های با وزن ۳۰٫۴ گرم، بیشتر از نمونه‌های با وزن‌های ۲۲٫۴ و ۱۰٫۸ گرم است.

نتایج آزمون‌های رئولوژی به‌دست آمده برای نمونه‌های فعال‌شده با کربنات‌سدیم، پلیمرهای چندآنیونی سلولز و پلیمر کربوکسی متیل سلولز رفتاری متفاوت و پیچیده از خود نشان داده و بیان می‌کنند که ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم در نمونه‌های فعال‌شده بهتر از نمونه-های ساده است. این نتایج برای نمونه‌های B02، B04 و B07 به شرح زیر هستند: ۱- نمونه B02، بهترین ویژگی‌های رئولوژی مربوط به استفاده از پلیمر کربوکسی متیل سلولز، در مرحله دوم کربنات‌سدیم و سپس از آن پلیمر چند آنیونی سلولز است. این نمونه با استفاده از هر سه افزودنی با در نظر گرفتن پلیمر کربوکسی متیل سلولز به عنوان بهترین افزایش دهنده ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم، با استاندارد API [۱۲] همخوانی دارد و می‌توان در صنعت حفاری از آن استفاده کرد. ۲- برای نمونه B04، بهترین ویژگی‌های رئولوژی مربوط به استفاده از پلیمر کربوکسی متیل سلولز، در مرحله دوم پلیمر چند آنیونی سلولز و پس از آن کربنات‌سدیم است. این نمونه با استفاده از دو افزودنی پلیمر کربوکسی متیل سلولز و پلیمر چند آنیونی سلولز با در نظر گرفتن پلیمر کربوکسی متیل سلولز به عنوان بهترین افزایش دهنده ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان و نقطه تسلیم، با استاندارد API [۱۲] همخوانی دارد و می‌توانند در صنعت حفاری به کار رود. ۳- برای نمونه B07، ویژگی‌های رئولوژی با استفاده از پلیمر کربوکسی متیل سلولز، در مرحله دوم پلیمر چند آنیونی سلولز و پس از آن کربنات‌سدیم نسبت به نمونه‌های سالم افزایش یافته‌است، اما ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی‌ناکشسان و نقطه‌تسلیم با استاندارد API [۱۲] همخوانی ندارد و نمی‌توان در صنعت حفاری از آن استفاده کرد. پلیمر کربوکسی متیل سلولز در نمونه‌های فعال-شده موجب افزایش استحکام ژل در ۱۰ ثانیه و در ۱۰ دقیقه به ترتیب در نمونه‌های B02، B04 و B07 می‌شود. بهترین استحکام ژل در ۱۰ ثانیه و در ۱۰ دقیقه به ترتیب برابر با ۱۴ و ۱۱ مربوط به نمونه B02 است.

برداشت

معدن بنتونیت مومن آباد در واحدهای سنگی داسیت، ریولیت و آندزیت به صورت واحدهایی با دگرسانی شدید بخشی از پهنه بنتونیتی شرق ایران است. بنتونیت‌ها به رنگ سفید و سبز روشن تا تیره با ریختار لایه‌ای، رگه‌های پرلیتی، پرلیت توده‌ای و عدسی شکل با ظاهری خشک شده، انقباض‌یافته و شکسته‌شده و دگرسانی‌های پیشرفته‌ای از نوع کربناتی‌شدن و رسی دیده می‌شوند. بررسی‌های کانی‌شناسی، تصویربرداری الکترونی و نتایج طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس نشان می‌دهد که کانی اصلی کریستوبالیت و اسمکتیت است و بنتونیت‌های منطقه از نوع مونت‌موریلونیت‌های سدیمی هستند. حضور کریستوبالیت در فاز کانیایی اصلی و کانی‌هایی فرعی مانند زئولیت بر ویژگی‌های رئولوژی بنتونیت‌ها اثر منفی دارد. نمونه‌های B04 و B07 با ترکیب کانی‌شناسی کریستوبالیت در درجه اول و اسمکتیت در درجه دوم به عنوان فاز کانیایی اصلی ویژگی‌های رئولوژی همخوان با استاندارد API را نشان نمی‌دهند و نمونه B07 با توجه به حضور زئولیت به عنوان کانی فرعی، همخوانی بسیار کمتری را نشان می‌دهد. اما نمونه B02 با توجه به حضور کانی اسمکتیت به عنوان فاز کانیایی اصلی، ویژگی‌های رئولوژی بهتری را نسبت به دو نمونه دیگر نشان می‌دهد. نتایج آزمون‌های رئولوژی نشان می‌دهند که گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم و استحکام ژله‌ای در نمونه‌های بنتونیتی ساده با وزن ۳۰٫۴ گرم بیشتر از نمونه‌های با وزن ۱۰٫۸ و ۲۲٫۴ گرم است. نمونه‌های با وزن ۱۰٫۸ و ۲۲٫۴ گرم مطابق با استاندارد API همخوانی ندارند و مناسب استفاده در صنعت حفاری نیستند. در وزن ۳۰٫۴ گرم، نمونه‌های B07 و B04 با استاندرد API همخوانی ندارند و نمی‌توانند در صنعت حفاری استفاده شوند و نمونه B02 با ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم به ترتیب برابر ۸٫۵، ۵، ۷ و استحکام ژله‌ای در ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه برابر با ۵ ویژگی‌های رئولوژی بهتری را نشان می‌دهد و می‌توان در صنعت از آن استفاده کرد. ویژگی‌های رئولوژی و

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.1.6.6]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.1.83]

استحکام ژله‌ای در نمونه‌های فعال‌شده بهتر از نمونه‌های ساده است و سیال‌های شامل پلیمر کربوکسی متیل سلولز به علت ویژگی یونی بالای ذرات نسبت به سایر پلیمرها بهترین افزایش دهنده ویژگی‌های رئولوژی در بنتونیت‌های منطقه هستند. نمونه‌های B02 و B04 با هر سه افزودنی و در نظر گرفتن پلیمر کربوکسی متیل سلولز به عنوان بهترین افزایش دهنده، دارای ویژگی‌های رئولوژی همخوان با استاندارد API بوده و قابل استفاده در صنعت حفاری هستند. نمونه B02 با پلیمر کربوکسی متیل سلولز و ویژگی‌های گرانروی ظاهری، گرانروی ناکشسان، نقطه تسلیم به ترتیب برابر ۲۵، ۹، ۳۲ و استحکام ژله‌ای در ۱۰ ثانیه و ۱۰ دقیقه به ترتیب برابر ۱۴ و ۱۱ بهترین بنتونیت برای کاربرد حفاری است. در مقابل نمونه B07 با استفاده از همه افزودنی‌ها، با استاندارد API همخوانی ندارد و نمی‌توان در صنعت حفاری از آن استفاده کرد.

مراجع

[1] Murry H., "*Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing, and Application of Kaolins, Bentonites, Palygorskit-Sepiolite, and Common Clays*", Elsevier's Science & Technology Right Department in Oxford, UK 2007.

[2] Takagi, T., Koh, S. M., Song, M. S., Itoh, M., Mogi, K., "*Geology and properties of the Kawasaki and Dobuyama bentonite deposits of Zao region in northeastern Japan*",Clay Minerals 40 (2005) 333±350.

[3] Hosterman J.W., and Patterson S.H., "*Bentonite and fuller's earth resources of the United States*",US Geological Survey Professional Paper 1522 (1992) 45 pp.

[4] Christidis, G. E., Scott. P. W., Marcopoulos, T., "*Origin of the bentonite deposits of Eastern Milos, Aegean, Greece: geological, mineralogical and geochemical evidence*", Clays and Clay Minerals 43 (1995) 63-77.

[5] YalÇın, H., and Gümüser, G., "*Mineralogical and geochemical characteristics of Late Cretaceous bentonite deposits of the Kelkit Valley Region, Northern Turkey*", Clay Minerals 35 (2000) 807-825.

[6] Yildiz, A., and Kuscu, M., "Origin of the Basoren (Kutahya, W Turkey) bentonite deposits", Clay Minerals 39 (2004) 219-231.

[7] Yildiz, A., Kuscu, M., "*Mineralogy, chemistry and physical properties of bentonites from Ba¸sören, Kütahya, W. Anatolia, Turkey*", Clay Minerals 42 (2007) 399-414.

[8] Kumar, A.S., Mahto, V., Sharma, V.P., "*Behavior of Organic Polymer on the Rheological Properties of Indian Bentonite-Water Based Drilling Fluid System and its Effect on Formation Damage*", Indian Journal of Chemical Technology 10 (2003) 525-530.

[9] Kelessidis, V.C., C. Tsamantaki, and P. Dalamarinis, "*Effect of pH and electrolyte on the rheology of aqueous Wyoming bentonite dispersions*", Applied Clay Science 38 (2007) 86-96.

[10] Agha, M.A., Ferrell, R.E., Hart, G.F., Abu El Ghar, M.S., Abdel-Motelib, A., "*Physical properties and Na-activation of Egyptian bentonitic clays for appraisal of industrial applications*", Applied Clay Science 131(2016) 74-83.

[11] Temraz, M.G., Hassanien, I., "*Mineralogy and rheological properties of some Egyptian bentonite for drilling fluids*", Journal of Natural Gas Science and Engineering 31 (2016) 791-799.

[12] API, (American Petroleum Institute).,"*Specification for Oil-Well Drilling Fluid Materials API Spec, 13A (Dallas TX)*", (1983).

[13] Olatunde, A. O., Usman, M. A., Olafadehan1, O. A., Adeosun, T. A., Ufot, O.E., "*Improvement of rheological properties of drilling fluid using locally based materials*", Petroleum and Coal 54 (2012) 65-75.

[14] Hassiba, K.J., Amani, M., "*The Effect of Salinity on the Rheological Properties of Water Based Mud under High Pressure and High Temperature for Drilling Offshore and Deep Wells*", Earth Science Research 2 (2012) 175.

[15] Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., "*Mineralogy and geochemistry of Chah-Golestan bentonite mine, Sarayan, Iran*", Adv. Appl. Geol. J 5 (2012) 69–79, (in Persian).

[16] Namayandeh, A.R., Modabberi, S., Ranjbaran, M., "*Mineralogical and geochemical studies to determine genesis of Khalkuh bentonite mine, Ferdows, Southern Khorasan*", Petrology 21 (2015) 19-34, (in Persian).

[17] Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., Viseras, C., Setti, M., & Ranjbaran, M., "*Characterization of Iranian bentonites to be used as pharmaceutical materials*", Applied Clay Science 116 (2015) 193-201.

[24] Hejazi, M., Ghorbani, M., " *Bentonites–Zeolite* ". Geological Survey of Iran 1994, 128 pp (in Persian).
[25] Stocklin, J., "*Structural history and tectonics of Iran: a review*", AAPG Bulletin 52 (1968) 1229-1258.
[26] Camp, V., & Griffis, R., "*Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran*", Lithos 15 (1982) 221-239.
[27] Tirrul, R., Bell, I., Griffis, R., & Camp, V., "*The Sistan suture zone of eastern Iran*", Geological Society of America Bulletin 94 (1983) 134-150.
[28] Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M. H., Mohammadi, S. S., Yang, H.M., Chu, C.H., Lee, H.Y.,Lo, C.H.,"*Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut–Sistan region, eastern Iran*", Chemical Geology 306 (2012) 40-53.
[29] Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M. H., Khatib, M. M., Mohammadi, S. S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H. Y., Lo, C.H., "*Eocene–Oligocene post-collisional magmatism in the Lut–Sistan region, eastern Iran: magma genesis and tectonic implications*", Lithos 180 (2013) 234-251.
[30] Khodja. M., Khodja-Saber. M., Canselier. J.P., Cohaut. N and Bergaya. F., "*Drilling Fluid Technology: Performances and Environmental Considerations*", Applied Clay Science 52 (2010) 245-253.
[31] Rasouli Manesh, R., Sakebi, A., Hosseini, M.A., Mollaei, F., Nasiri, A. "*study of the influence of bentonite on the efficiency of polyanionic cellulose polymer and potato starch in water-based drilling fluid*", Oil and Gas Exploration and Exploration 119 (2014), (in Persian).
[18] Modabberi, S., Namayandeh, A., López-Galindo, A., & Setti, M., "*Genesis of the Eastern Iranian bentonite deposits*", Applied Clay Science, 168 (2018) 56-67.
[19] Tarabi, S., Emami, M.H., Modabberi. S., "*Study of diagenetic and hydrothermal alteration in stratigraphy section of Momen-abad (North-East of Sarbisheh, Birjand) and its role of them in non-metallic mineralization*", 4th YES Congress (2017).
[20] Tarabi, S., Modabberi. S. Emami, M.H., "*The Study of Diagenetic and Hydrothermal Alteration in the Volcanic Sequence of Momen-abad (North-East of Sarbisheh, Birjand) and Their Roles in Non-metallic Mineralization*", (in press) (2019), (in Persian).
[21] Tarabi, S., "*The Study of Petrology, Geochemistry and Alteration of Momen Abad Area (North-East of Sarbisheh) with Reference to the Formation of Bentonite Deposits and their Industrial Application*", Unpublished P.hD. thesis. Department of Geology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (2018), (in Persian).
[22] Tarabi, S., Modabberi. S. , Forouzesh, V., "*Study of Bentonite mines Ferdows - Sarbishe zone (Birjand) in order to applay in pelletizing*", 35th National Geosciences Congress which was held in the Geological Survery of Iran. 1-3 February (2016).
[23] Karimpour, M. h., Rashed, A. A., Erteza, H.," *Mineralogical Composition, Geochemistry and Application of Deh Mohamad, Chah Kem 1, Chah Kem 2 and Shir Gasht (Khorasan and Yazd)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 82, 15-27.